

旋转型超声电机伺服特性探讨*

梁大志^{1,2}, 张 军¹, 赵淳生¹

(1. 南京航空航天大学机械结构力学与控制国家重点实验室 南京, 210016)

(2. 江苏丰科超声电机科技有限公司 南京, 210019)

摘要 旋转型超声电机机械特性不能全面反映它的运行特性。为了更好地将旋转型超声电机应用于伺服系统,有必要对旋转型超声电机的运行特性进行全面的分析。为此,笔者搭建了一个测量旋转型超声电机运行特性试验系统,以江苏丰科超声电机科技有限公司早期生产的 TRUM-60 型超声电机为试件,在固定输出频率和固定输出电压两种情况下,得到 TRUM-60 型超声电机的机械特性曲线族和调节特性曲线族。实验结果表明,该型超声电机的机械特性和调节特性均为单值函数,它们都满足伺服系统对伺服电机运行特性的要求。因此,TRUM-60 型超声电机能够作为伺服电机而使用。

关键词 超声电机; 驱动控制器; 运行特性; 机械特性; 调节特性; 伺服电机

中图分类号 TM35; TP39

引 言

伺服系统的基本结构主要由控制器、功率驱动装置(驱动器)、反馈装置(传感器)和伺服电机(作动器)组成。作为伺服系统中使用的伺服电机,要求表征伺服电机运行特性的机械特性和调节特性必须是单值函数,并尽量具有线性特性,以确保在整个调速范围内稳定运行。

超声电机(ultrasonic motor,简称 USM)是 20 世纪 80 年代开始发展起来的一种新型微特电机,主要是利用压电材料的逆压电效应,使定子超声频段内产生振动,通过定子、转子之间的摩擦获得单方向运动和扭矩。超声电机具有低速大力矩、断电自锁、快速响应等优异的特性,在众多的伺服系统中得到了很好的应用^[1-4]。

目前,对于旋转型超声电机运行特性的研究主要集中在机械特性,而机械特性不能全面反映旋转型超声电机的运行特性。为了使旋转型超声电机在伺服系统中更好的应用,有必要对旋转型超声电机的运行特性进行全面的分析和研究。

笔者在开环条件下,利用研制出的超声电机运行特性测试系统,测试在不同的工作状态下(固定输出频率和固定输出电压),旋转型超声电机的机械特性和调节特性。通过对机械特性和调节特性进行

分析,得到旋转型超声电机的伺服特性,为合理设计相应的伺服系统以及控制器提供依据。

1 工作原理

1.1 TRUM-60 型超声电机

以江苏丰科超声电机科技有限公司早期生产的 TRUM-60 型旋转超声电机为研究对象(图 1),对其在不同工作状况下的机械特性和调节特性进行测试与分析。该电机的工作频率范围为 41.2~43.5 kHz,工作输出峰峰值电压范围为 280~500 V。

改变加载在该电机上的信号频率、电压和相位差都能够改变超声电机的速度^[5]。文中仅研究输出频率或输出电压为参变量时,测试电机的机械特性和调节特性。在测试过程中,选取频率范围为 41.3~42.5 kHz,选取输出峰峰值电压范围为 320~424 V。

1.2 超声电机驱动控制器

超声电机的应用离不开驱动器,驱动器性能的优劣,不仅关系到超声电机的输出性能,也会影响其应用^[1,6-7]。笔者采用了一种新型结构形式的超声电机驱动控制器,该驱动控制器采用双 PWM 功率驱动拓扑结构^[2,8],如图 2 所示。

* 国家自然科学基金资助项目(51275235)

收稿日期:2014-02-10;修回日期:2014-03-10

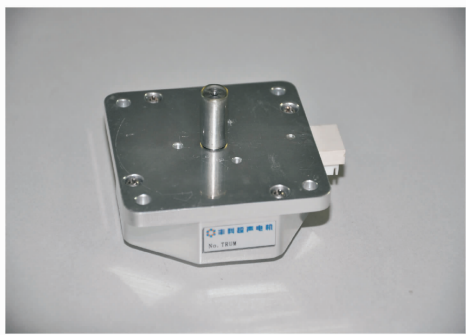


图 1 TRUM-60 型超声电机

Fig. 1 TRUM-60 ultrasonic motor



图 3 超声电机运行特性测试系统

Fig. 3 The operation characteristics measure system of ultrasonic motor

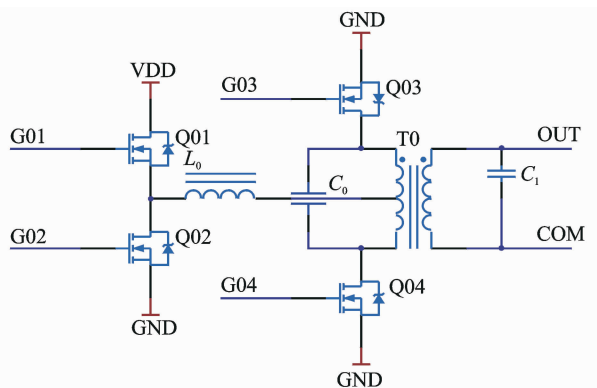


图 2 双 PWM 功率拓扑结构框图

Fig. 2 The diagram of dual PWM power topology

图中,功率场效应管 Q01 和 Q02 构成半桥 PWM,用于输出信号的电压调节。功率场效应管 Q03 和 Q04 构成推挽 PWM,用于输出信号频率的功率输出。由于电感器 L_0 的隔离作用,使得输出信号的电压与频率在调节时互不影响,实现了独立控制,为研究 TRUM-60 型超声电机的运行特性提供了保障。变压器 T0、电容器 C_1 以及超声电机的静电容器一并构成的并联谐振回路,使得超声电机在整个工作频率范围内都能够实现阻抗匹配^[9],实现准正弦波恒压的信号输出。

1.3 超声电机运行特性测试系统

超声电机运行特性测试系统主要由超声电机驱动控制器、旋转超声电机、E40H8-500 编码器、HX-907 扭矩传感器、DZ-2.5 磁滞制动器、测功控制器以及上位机等组成,如图 3 所示。

系统工作时,通过超声电机驱动控制器来控制超声电机的旋转。上位机通过测功控制软件发送控制指令到测功控制器,通过控制磁滞制动器实现对超声电机施加设定的负载扭矩;测功控制器通过扭矩传感器和编码器,实时获取负载扭矩值和电机转

速值等运行数据,并通过测功控制器发送至上位机,由上位机的测功控制软件实时显示和记录存档。

2 机械特性测试

电机的机械特性是指控制参变量一定时,电机转速随着负载扭矩变化的关系。

在测试过程中,首先,研究输出频率为 41.3 kHz,输出电压为参变量时的超声电机的机械特性;其次,研究输出峰峰值电压为 430 V,输出频率为参变量时的超声电机的机械特性;最后,对两种情况下的超声电机的机械特性进行对比分析。

2.1 输出频率一定

保持超声电机驱动控制器的输出频率为 41.3 kHz 不变,在不同的输出电压情况下,通过不断增加负载扭矩值,研究 TRUM-60 型超声电机转速与负载扭矩之间的关系。

实验结果如图 4 所示,图中给出了输出峰峰值电压分别为 320,352 以及 424 V 时的超声电机的机械特性曲线。从图中可以看出,在输出峰峰值电压为 320~424 V 范围内,TRUM-60 型超声电机在不同的输出电压作用下均有近似线性的机械特性,并具有相似的变化趋势,能够满足伺服系统对伺服电机机械特性为单值函数的要求,并具有较好的线性特性。

2.2 输出电压一定

保持超声电机驱动控制器的输出峰峰值电压为 430 V 不变,在不同的输出频率情况下,通过不断增加负载扭矩值,研究 TRUM-60 型超声电机转速与负载扭矩之间的关系。

实验结果如图 5 所示,图中给出了输出频率分

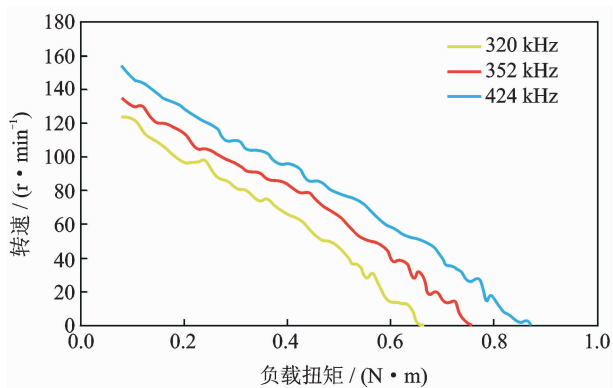


图4 输出频率一定时电机的机械特性曲线

Fig. 4 The mechanical characteristics curves at fixed output frequency

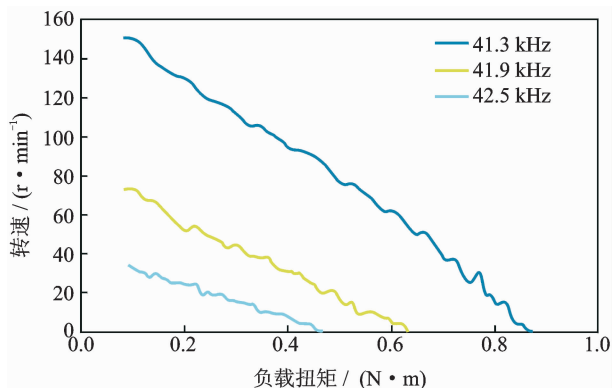


图5 输出电压一定时电机的机械特性曲线

Fig. 5 The mechanical characteristics curves at fixed output voltage

别为 41.3, 41.9 以及 42.5 kHz 时的超声电机的机械特性曲线。从图中可以看出,在输出频率为 41.3 ~ 42.5 kHz 范围内,TRUM-60 型超声电机在不同的输出频率作用下均有近似线性的机械特性,能够满足伺服系统对伺服电机机械特性为单值函数的要求,并具有良好的线性特性。但是其机械特性的变化趋势会随着输出频率的升高(即远离超声电机定子的共振点)而变得越快。

2.3 超声电机的机械特性

通过以上的实验结果表明,在输出频率一定时电机的机械特性以及输出电压一定时电机的机械特性,都具有良好的线性特性,都满足伺服系统对伺服电机机械特性的要求。

通过比较输出频率一定时电机机械特性与输出电压一定时电机的机械特性,前者的机械特性变化趋势与参变量输出电压无关,更加有利于伺服系统对伺服电机(速度模式或者力矩模式)反馈控制的实

现;后者的机械特性变化趋势与参变量输出频率相关,输出频率值越低,相同的超声电机速度变化量,所对应负载扭矩的变化范围就越大,即转速(S)对负载扭矩(M)的变化率 $\Delta S/\Delta M$ 减小。

3 调节特性测试

电机的调节特性是指负载扭矩一定时,电机稳态转速随着控制参变量变化的关系。

在测试过程中,首先,研究输出频率为 41.3 kHz,输出电压为参变量时的超声电机的调节特性;其次,研究输出峰值电压为 430 V,输出频率为参变量时的超声电机的调节特性;最后,对两种情况下的超声电机的调节特性进行对比分析。

3.1 输出频率一定

保持超声电机驱动控制器的输出频率为 41.3 kHz 不变,在不同的负载扭矩情况下,通过不断增加输出电压值,研究 TRUM-60 型超声电机转速与输出电压之间的关系。

实验结果如图 6 所示,图中给出了负载扭矩分别为 0.1, 0.45 以及 0.8 N·m 时的超声电机的调节特性曲线。从图中可以看出,在负载扭矩为 0.1 ~ 0.8 N·m 范围内,TRUM-60 型超声电机在不同的负载扭矩作用下均有近似线性的调节特性,能够满足伺服系统对伺服电机调节特性为单值函数的要求,并且其调节特性变化趋势与负载扭矩无关。

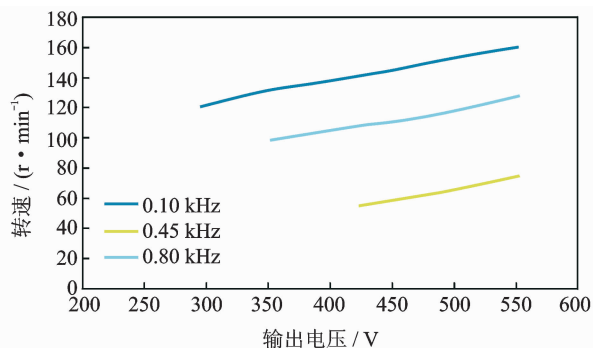


图6 输出频率一定时电机的调节特性曲线

Fig. 6 The regulation characteristics curves at fixed output frequency

3.2 输出电压一定

保持超声电机驱动控制器的输出峰值电压为 430 V 不变,在不同的负载扭矩值情况下,通过不断增加输出频率值,研究 TRUM-60 型超声电机转速与输出频率之间的关系。

实验结果如图7所示,图中给出了负载扭矩分别为0.1,0.45以及0.8 N·m时的超声电机的调节特性曲线(其中纵坐标为对数刻度)。从图中可以看出,在负载扭矩为0.1~0.8 N·m范围内,TRUM-60型超声电机在不同的负载扭矩作用下均有近似单调的调节特性,能够满足伺服系统对伺服电机调节特性为单值函数的要求。但是其调节特性的变化趋势与负载扭矩相关,当负载扭矩越高,相同的电机转速变化量,所对应的输出频率的变化范围就越小,即转速(S)对频率(f)的变化率 $\Delta S/\Delta f$ 增大。

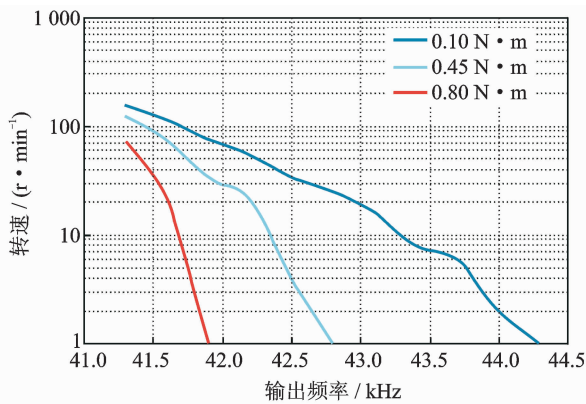


图7 输出电压一定时电机的调节特性曲线

Fig.7 The regulation characteristics curves at fixed output voltage

3.3 超声电机的调节特性

通过以上的实验结果表明,在输出频率一定时电机的调节特性以及输出电压一定时电机的调节特性,都具有良好的单值特性,满足伺服系统对伺服电机调节特性的要求。

通过比较输出频率一定时电机调节特性与输出电压一定时电机的调节特性,前者的调节特性变化趋势与参变量输出电压无关,更加有利于伺服系统对伺服电机(速度模式或者力矩模式)反馈控制的实现;后者调节特性与负载扭矩相关,负载扭矩值越高,相同的超声电机速度变化量,输出频率的变化范围就越小,即转速(S)对频率(f)的变化率 $\Delta S/\Delta f$ 增大。

4 结束语

通过测试和分析 TRUM-60 型超声电机的运行特性,表明 TRUM-60 型超声电机是能够满足伺服系统对伺服电机的机械特性和调节特性均为单值函数要求的电机。

通过对比发现,保持输出频率不变,以输出电压为参变量时,超声电机的运行特性更加有利于伺服系统

对伺服电机(速度模式或者力矩模式)反馈控制的实现;而保持输出电压不变,以输出频率为参变量时,负载扭矩与输出频率相关联,会对电机的转速产生影响。

参 考 文 献

- [1] 赵淳生. 超声电机技术与应用[M]. 北京:科学出版社, 2007:1-20.
- [2] 梁大志,时运来,朱华,等. 超声电机驱动及控制技术的新进展[J]. 振动、测试与诊断, 2012, 32(6):990-993. Liang Dazhi, Shi Yunlai, Zhu Hua, et al. New progress of drive and control techniques of ultrasonic motors[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2012, 32(6):990-993. (in Chinese)
- [3] 赵建桃,张铁民. 超声电机伺服控制技术研究进展[J]. 电机与控制学报, 2009, 13(6):879-885. Zhao Jiantao, Zhang Tiemin. Development of servo control technique on ultrasonic motors[J]. Electric Machines and Control, 2009, 13(6):879-885. (in Chinese)
- [4] 纪科辉,郭吉丰,刘晓. 超声波电机的步进特性和步进定位控制[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(1):71-75. Ji Kehui, Guo Jifeng, Liu Xiao. Stepping characteristic of ultrasonic motor and its stepping-positioning control[J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(1):71-75. (in Chinese)
- [5] 李华峰. 超声波电机及其精密伺服控制系统研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2002.
- [6] 魏守水. 超声马达的驱动及其控制技术[D]. 南京:南京航空航天大学, 2000.
- [7] 赵淳生. 世界超声电机技术的新进展[J]. 振动、测试与诊断, 2004, 24(1):1-5. Zhao Chunsheng. Recent progress in ultrasonic motor techniques[J]. Journal of Vibration, Measurement & Diagnosis, 2004, 24(1):1-5. (in Chinese)
- [8] 梁大志,时运来,张军,等. 一种超声电机双 PWM 功率驱动拓扑结构:中国, CN102983776A[P]. 2013-03-20.
- [9] 赵淳生,祖家奎. 行波型超声电机定子的共振与反共振特性的研究[J]. 声学学报, 2004, 30(1):1-7. Zhao Chunsheng, Zhu Jiakui. Research on resonance and antiresonance states of free stator of traveling wave ultrasonic motors[J]. Acta Acustica, 2004, 30(1):1-7. (in Chinese)



第一作者简介:梁大志,男,1955年8月生,工程师。主要研究方向为超声电机驱动与控制。曾发表《超声电机驱动及控制技术的新进展》(《振动、测试与诊断》2012年第32卷第6期)等论文。
E-mail:ldz84@nuaa.edu.cn

